POTENSI NANOPARTIKEL *Cuprous Oxide* (Cu_2O) UNTUK MENGENDALIKAN INFEKSI TOBACCO MOSAIC VIRUS PADA CABAI MERAH

HERLINA RAHARJA PUTRI

PROGRAM STUDI FITOPATOLOGI
FAKULTAS PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024

IPB University
Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
IPB University
Perpustakaan IPB University

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
   a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
   b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul "Potensi Nanopartikel *Cuprous Oxide* (Cu_2O) untuk Mengendalikan Infeksi Tobacco Mosaic Virus pada Cabai Merah" adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan mau pun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2024

Herlina Raharja Putri
A3502211009

IPB University
Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
Perpustakaan IPB University

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
   a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
   b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

IPB University
Bogor Indonesia
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
@Hak cipta milik IPB University
IPB University
Perpustakaan IPB University

RINGKASAN

HERLINA RAHARJA PUTRI. Potensi Nanopartikel *Cuprous Oxide* (Cu_2O) untuk Mengendalikan Infeksi Tobacco Mosaic Virus pada Cabai Merah. Dibimbing oleh TRI ASMIRA DAMAYANTI, AKHIRUDDIN, dan SARI NURULITA.

Tobacco mosaic virus (TMV), anggota kelompok genus *Tobamovirus*, merupakan salah satu virus yang berasosiasi dengan tanaman cabai merah di Indonesia. Karakter biologi TMV kompleks karena kisaran inangnya luas, partikel virusnya stabil, tular benih, dan mampu bertahan dalam sisa-sisa tanaman selama bertahun-tahun. Informasi mengenai upaya pengelolaan infeksi TMV di Indonesia masih perlu dikembangkan. Nanopartikel (NP) merupakan salah satu bahan potensial yang dapat dimanfaatkan untuk pengelolaan virus tanaman. Namun, kajian dan pemanfaatannya di bidang proteksi tanaman masih sangat terbatas di Indonesia. Penggunaan metode sintesis NP berbasis ekstrak tumbuhan masih diperlukan sebagai metode yang murah dan ramah lingkungan. Oleh karena itu, penelitian yang telah dilakukan ini bertujuan menyintesis nanopartikel *cuprous oxide* (Cu_2O-NP) dengan metode *green synthesis* dan menganalisis karakteristiknya; menentukan waktu aplikasi dan konsentrasi terbaik dalam menekan pembentukan lesio lokal nekrotik karena infeksi TMV pada *Chenopodium amaranticolor*; dan mengkaji keefektifan Cu_2O-NP untuk mengendalikan TMV pada benih dan tanaman cabai merah.

Kajian pertama adalah sintesis Cu_2O-NP dengan metode *green synthesis* menggunakan buah menteng (*Baccaurea racemosa*) sebagai agens pereduksi dan menganalisis karakteristiknya. Analisis karakteristik Cu_2O-NP dilakukan menggunakan *X-ray diffraction* (XRD), *transmission electron microscope* (TEM), spektrofotometer UV-Visual (UV-Vis), dan *fourier transform infrared* (FTIR) *spectroscopy*. Peubah yang diamati adalah ukuran dan morfologi partikel, jenis NP, struktur dan ukuran kristal, sifat optik, dan peran ekstrak *B. racemosa* dalam *green synthesis* Cu_2O-NP. Cu_2O-NP berhasil disintesis menggunakan ekstrak buah *B. racemosa* sebagai reduktor. Cu_2O-NP yang dianalisis berdasarkan TEM, XRD, dan UV-Vis menunjukkan karakteristik partikel berbentuk *spheris* (membulat) dengan ukuran partikel 5,1 nm, struktur kristal yang baik dengan ukuran 4,3 nm, dan memiliki penyerapan spesifik pada panjang gelombang 400-500 nm. Hasil analisis spektrum FTIR menunjukkan bahwa ekstrak buah *B. racemosa* berperan sebagai *capping agent* dan agen pereduksi dalam *green synthesis* Cu_2O-NP.

Kajian kedua adalah penentuan waktu aplikasi dan konsentrasi NP yang efektif melalui *bioassay* pada *C. amaranticolor*. Cu_2O-NP diaplikasikan sebelum dan setelah 24 jam inokulasi TMV dengan konsentrasi mulai dari 0-120 ppm. Peubah yang diamati adalah masa inkubasi, jumlah lesio lokal nekrotik, tingkat hambatan relatif, dan titer virus. Aplikasi Cu_2O-NP pada konsentrasi 80, 90, dan 100 ppm setelah inokulasi TMV terbukti mampu memperpanjang masa inkubasi, menunjukkan jumlah lesio lokal nekrotik yang lebih sedikit, dan menurunkan titer virus secara nyata dibandingkan dengan perlakuan sebelum inokulasi TMV dan kontrol. Tingkat hambatan relatif ketiga konsentrasi tersebut berkisar antara 77,0% hingga 82,4%. *Bioassay* menunjukkan waktu aplikasi dan konsentrasi Cu_2O-NP terbaik adalah aplikasi semprot setelah inokulasi TMV dengan konsentrasi antara 80-100 ppm.

Kajian ketiga adalah pengujian kemampuan Cu_2O-NP dalam mengendalikan infeksi TMV pada tanaman cabai merah di rumah kaca. NP dengan konsentrasi 80-100 ppm diaplikasikan dua kali sebagai *seed-nanopriming* sebelum tanam dan disemprotkan ke daun setelah bibit dipindahtanam. Tanaman sakit tanpa perlakuan dan tanaman sehat digunakan sebagai kontrol. Peubah yang diamati adalah masa inkubasi, insidensi penyakit, skor keparahan penyakit, titer virus, morfologi partikel TMV, aktivitas enzim peroksidase, dan peubah agronomi (tinggi tanaman, jumlah daun, dan jumlah bunga). Di antara konsentrasi yang diuji pada tanaman cabai, 100 ppm adalah konsentrasi terbaik yang secara signifikan mampu mengurangi keparahan penyakit dan titer TMV dibandingkan dengan kontrol yang tidak diberi perlakuan. Berdasarkan pengamatan partikel virus dengan TEM, Cu_2O-NP bersifat sebagai antivirus dengan memengaruhi morfologi partikel TMV secara langsung dibandingkan menginduksi ketahanan sistemik melalui aktivitas enzim peroksidase pada tanaman cabai merah. Aplikasi Cu_2O-NP menyebabkan agregasi dan patahnya partikel TMV. Selain itu, Cu_2O-NP menunjukkan potensi sebagai pemacu pertumbuhan tanaman karena kemampuannya meningkatkan pertumbuhan pada tanaman cabai.

Kajian keempat adalah pengujian *nanopriming* Cu_2O dalam mengeliminasi benih cabai yang terkontaminasi TMV. *Nanopriming* dilakukan selama 24 jam menggunakan konsentrasi Cu_2O-NP mulai dari 80-100 ppm. Peubah yang diamati adalah insidensi penyakit, titer virus, daya kecambah, dan indeks vigor. *Nanopriming* dengan konsentrasi 90-100 ppm secara signifikan mengurangi insidensi penyakit dan titer TMV yang mengontaminasi benih cabai merah tanpa mengganggu indeks vigor dan daya berkecambah.

Kata kunci: antivirus, cabai, *green-synthesis*, *nanopriming*, *tobamovirus*

IPB University
Bogor Indonesia
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
@Hak cipta milik IPB University
IPB University
Perpustakaan IPB University

IPB University
Bogor Indonesia
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
@Hak cipta milik IPB University
IPB University
Perpustakaan IPB University

SUMMARY

HERLINA RAHARJA PUTRI. Potential of Cuprous Oxide (Cu_2O) Nanoparticles to Control Tobacco Mosaic Virus Infection on Chilli Pepper. Supervised by TRI ASMIRA DAMAYANTI, AKHIRUDDIN, and SARI NURULITA.

Tobacco mosaic virus (TMV), member of genus *Tobamovirus*, is one of the viruses associated with chili pepper in Indonesia. TMV's biological characteristics are complex, as it can infect a wide range of hosts, stable virus particles, seed transmitted, and persist in plant debris for many years. Efforts to manage TMV infection in Indonesia are still underdeveloped. Nanoparticles (NPs) are promising materials for plant virus management, but their application in plant protection needs further exploration in Indonesia. Plant extract-based methods for NP synthesis offer a cost-effective and environmentally friendly approach. Therefore, this research aimed to synthesize *cuprous oxide* nanoparticles (Cu_2O-NPs) using green synthesis methods and analyze their characteristics, determine the optimal application time and concentration for suppressing necrotic local lesions caused by TMV infection on *Chenopodium amaranticolor*, and evaluate the effectiveness of Cu_2O-NPs in controlling TMV on chilli pepper seeds and plants.

The first study synthesized Cu_2O-NPs using the green synthesis method with menteng fruit (*Baccaurea racemosa*) as the reducing agent and analyzing its characteristics. The characteristics of Cu_2O-NPs were examined using X-ray diffraction (XRD), transmission electron microscope (TEM), UV-visible spectrophotometer, and fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. The observation variables were morphology and size of the particle, identification of NP type, structure and size of the crystal, optical properties, and the role of *B. racemosa* extract in the green synthesis of Cu_2O-NP. Cu_2O-NPs were successfully synthesized using *B. racemosa* fruit extract as a reducing agent. Cu_2O-NPs analyzed based on TEM, XRD, and UV-Vis showed spherical particle characteristics with a particle size of 5.1 nm, a well-crystallized structure with a size of 4.1 nm, and a specific absorption at wavelengths of 400-500 nm, respectively. The results of FTIR spectra analysis showed that *B. racemosa* fruit extract acts as a reducing agent as well as a capping agent in the green synthesis of Cu_2O-NPs.

The second study determined the best application time and concentration of Cu_2O-NPs through bioassay on *C. amaranticolor*. Cu_2O-NPs were applied prior and post 24 hours of TMV inoculation with concentrations ranging from 0-120 ppm. The observation variables were incubation period, number of necrotic local lesions (NLL), inhibition of NLL, and virus titer. The application of Cu_2O-NP at concentrations of 80, 90, and 100 ppm post-TMV inoculation showed the ability to prolong the incubation period, lower numbers of NLL, and reduce the virus titer significantly compared to the treatment prior-TMV inoculation and control. The relative inhibition levels of the three concentrations ranged from 77.0% to 82.4%. The bioassay showed that the best application time and concentration for Cu_2O-NPs were application post-TMV inoculation and the ideal concentration was 80 to 100 ppm.

The third study assessed the ability of Cu_2O-NPs to control TMV infection in chili pepper plants in the greenhouse. NP concentrations ranging from 80 to 100 ppm applied twice as seed-nanopriming before planting and as a foliar sprayed

treatment after transplanting. Untreated infected plants and healthy plants used as controls. The observation variables were incubation period, disease incidence, disease severity score, virus titer, morphology of TMV particles, activity of peroxidase enzyme, and agronomic variables (plant height, number of leaves, and number of flowers). Among the tested concentrations on chili pepper plants, 100 ppm significantly reduced disease severity and TMV titer compared to the untreated control. Based on TEM's observation of virus particles, Cu_2O-NP act as an antiviral by directly affecting the morphology of TMV particles rather than inducing systemic resistance through peroxidase enzyme activity on chili pepper plants. Applying Cu_2O-NPs caused the viral particles' fracture and aggregation. Furthermore, Cu_2O-NPs also displayed a potency as plant growth promotors due to their capability to stimulate chili pepper plants' growth.

The fourth study assessed Cu_2O nanopriming in eliminating TMV-contaminated chili pepper seeds. Seed nanopriming was conducted for 24 hours using Cu_2O-NPs with concentrations ranging from 80 to 100 ppm. The observation variables were disease incidence, virus titer, germination rate, and vigor index. Nanopriming at concentration of 90-100 ppm significantly reduced disease incidence dan virus titer without interfering germination rate and vigor index of TMV-contaminated chili pepper seeds.

Keywords: antiviral, chili pepper, green-synthesis, nanopriming, tobamovirus

IPB University
Bogor Indonesia
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
@Hak Cipta milik IPB University
IPB University
Perpustakaan IPB University

© Hak Cipta Milik IPB, Tahun 2024
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah; dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
   a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
   b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

POTENSI NANOPARTIKEL *Cuprous Oxide* (Cu_2O) UNTUK MENGENDALIKAN INFEKSI TOBACCO MOSAIC VIRUS PADA CABAI MERAH

HERLINA RAHARJA PUTRI

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Fitopatologi

PROGRAM STUDI FITOPATOLOGI
FAKULTAS PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024

IPB University
Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
Perpustakaan IPB University

Tim Penguji pada Ujian Tesis:

1 Dr. Efi Toding Tondok, S.P., M.Sc. Agr.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

Judul Tesis : Potensi Nanopartikel *Cuprous Oxide* (Cu_2O) untuk Mengendalikan Infeksi Tobacco Mosaic Virus pada Cabai Merah
Nama : Herlina Raharja Putri
NRP : A3502211009

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Tri Asmira Damayanti, M. Agr.

Pembimbing 2:
Prof. Dr. Akhiruddin, S. Si., M.Si.

Pembimbing 3:
Dr. Sari Nurulita, S. P., M. Si.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. Ir. Giyanto, M.Si.
NIP. 196707091993031002

Dekan Fakultas Pertanian:
Prof. Dr. Ir. Suryo Wiyono, M.Sc. Agr.
NIP. 196902121992031003

Tanggal Ujian: 28 Mei 2024

Tanggal Lulus: 09 AUG 2024

IPB University
Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
IPB University
Perpustakaan IPB University

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
   a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
   b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu Wata'ala karena atas rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir tesis yang berjudul 'Potensi Nanopartikel *Cuprous Oxide* (Cu_2O) untuk Mengendalikan Infeksi Tobacco Mosaic Virus pada Cabai Merah' sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister pada Program Studi Fitopatologi, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.

Penulis menyadari tanpa bimbingan, dukungan, dan bantuan berbagai pihak, penulis tidak dapat menyelesaikan tesis ini dengan baik. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih khususnya kepada para pembimbing Prof. Dr. Ir. Tri Asmira Damayanti, M.Agr., Prof. Dr. Akhiruddin, S.Si., M.Si., dan Dr. Sari Nurulita, S.P., M.Si. yang telah membimbing dan banyak memberi saran baik terkait akademik maupun tentang kehidupan dan kepribadian yang lebih baik.

Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Dr. Efi Toding Tondok, S.P., M.Sc. Agr. selaku penguji luar komisi pada saat kolokium dan sidang ujian tesis. Ungkapan terima kasih tak lupa penulis sampaikan kepada dosen moderator Prof. Dr. Ir. Satriyas Ilyas, M.S. yang telah memberikan saran dan masukan terhadap penulis selama seminar hasil.

Ucapan terima kasih juga kepada seluruh staf pengajar Program Studi Fitopatologi yang telah memberikan banyak ilmu kepada penulis, juga kepada seluruh pegawai Departemen Proteksi Tanaman dan Fakultas Pertanian yang selalu sabar dan siap siaga memberikan bantuan kepada penulis.

Tak lupa pula ucapan terima kasih disampaikan kepada teman- teman anggota Laboratorium Virologi Tumbuhan yang selalu memberikan motivasi, hiburan, bantuan, do'a, dan dukungan selama penulis menyelesaikan tugas akhir. Serta terima kasih diucapkan kepada teman-teman Fitopatologi 2021 yang memberikan dukungan penulis dalam menyelesaikan pendidikan magister di Sekolah Pascasarjana IPB.

Ucapan terima kasih terakhir dan terpenting kepada orangtua, Bapak Slamet Raharjo, Ibu Sumarti, Kakak Ernawati Sari, Adik Ririn Sulisdiyanti Agustin, dan juga seluruh saudara atas segala dukungan, motivasi, dan do'a yang diberikan kepada penulis dalam menyelesaikan studi pascasarjana di IPB.

Demikian rasa syukur dan ucapan terima kasih ini disampaikan. Penulis mengetahui masih banyak terdapat kekurangan dalam tesis ini, sehingga kritik dan saran diharapkan oleh penulis agar dapat menjadi koreksi untuk menjadi lebih baik lagi. Semoga hasil dari penelitian ini dapat memberi manfaat bagi para pembaca maupun peneliti selanjutnya sehingga dapat menjadi sumber amal kebaikan bagi penulis dan seluruh pihak yang membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

Bogor, Agustus 2024

Herlina Raharja Putri

IPB University
Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
IPB University
Perpustakaan IPB University

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
   a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
   b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL xiv

DAFTAR GAMBAR xv

DAFTAR LAMPIRAN xvi

I PENDAHULUAN 1
- 1.1 Latar Belakang 1
- 1.2 Rumusan Masalah 2
- 1.3 Tujuan Penelitian 3
- 1.4 Hipotesis Penelitian 3
- 1.5 Manfaat Penelitian 3
- 1.6 Ruang Lingkup Penelitian 3

II TINJAUAN PUSTAKA 5
- 2.1 Arti Penting Cabai Merah 5
- 2.2 *Tobamovirus* 5
- 2.3 Nanopartikel 6
- 2.4 Sintesis Nanopartikel 7
- 2.5 Nanopartikel sebagai Antivirus 8

III METODE PENELITIAN 9
- 3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian 9
- 3.2 *Green synthesis* Nanopartikel *Cuprous Oxide* (Cu_2O-NP) 9
  - 3.2.1 *Green synthesis* Cu_2O-NP 9
  - 3.2.2 Analisis Karakteristik Cu_2O-NP 9
- 3.3 Penentuan Waktu Aplikasi dan Konsentrasi Terbaik Cu_2O-NP untuk Mengendalikan Tobacco Mosaic Virus pada *Chenopodium amaranticolor* 10
  - 3.3.1 Perbanyakan Inokulum Tobacco Mosaic Virus 10
  - 3.3.2 Penyiapan Tanaman *Chenopodium amaranticolor* 10
  - 3.3.3 Perlakuan 10
  - 3.3.4 Peubah Pengamatan 10
- 3.4 Pemanfaatan Cu_2O-NP untuk Pengendalian Infeksi Tobacco Mosaic Virus pada Tanaman Cabai Merah di Rumah Kaca 11
  - 3.4.1 *Nanopriming* dan Penyemaian Benih Cabai Merah 11
  - 3.4.2 Perlakuan 11
  - 3.4.3 Peubah Pengamatan 12
- 3.5 Eliminasi Tobacco Mosaic Virus yang Mengontaminasi Benih Cabai Merah dengan *Seed-nanopriming* Cu_2O 13
  - 3.5.1 *Nanopriming* Benih Cabai Merah Terkontaminasi Tobacco Mosaic Virus 13
  - 3.5.2 Peubah Pengamatan 13
- 3.6 Analisis Data 13

IV HASIL DAN PEMBAHASAN 14
- 4.1 Karakteristik Cu_2O-NP 14

IPB University Bogor Indonesia

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Perpustakaan IPB University

4.2 Penentuan Waktu Aplikasi dan Konsentrasi Terbaik Cu_2O-NP untuk Mengendalikan Tobacco Mosaic Virus pada *Chenopodium amaranticolor* 18
4.3 Pemanfaatan Cu_2O-NP untuk Pengendalian Infeksi Tobacco Mosaic Virus pada Tanaman Cabai Merah di Rumah Kaca 21
4.4 Eliminasi Tobacco Mosaic Virus yang Mengontaminasi Benih Cabai Merah dengan *Seed-nanopriming* Cu_2O 26
V PEMBAHASAN UMUM 29
VI SIMPULAN DAN SARAN 31
6.1 Simpulan 31
6.2 Saran 31
DAFTAR PUSTAKA 32
LAMPIRAN 40
RIWAYAT HIDUP 45

IPB University
Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
Perpustakaan IPB University

DAFTAR TABEL

1 Perlakuan pengujian Cu_2O-NP pada tanaman cabai merah di rumah kaca 11
2 Masa inkubasi dan tingkat hambatan lesio lokal nekrotik pada daun *Chenopodium amaranticolor* yang diinokulasi tobacco mosaic virus (TMV) 18
3 Titer dan tingkat hambatan tobacco mosaic virus (TMV) pada daun *Chenopodium amaranticolor* 21
4 Masa inkubasi, insidensi, skor keparahan penyakit, dan titer tobacco mosaic virus (TMV) pada tanaman cabai merah 22
5 Tinggi tanaman, jumlah daun dan jumlah bunga pada tanaman cabai merah 24
6 Indeks vigor dan daya berkecambah benih cabai merah terkontaminasi tobacco mosaic virus (TMV) 26
7 Insidensi penyakit, titer virus, hasil deteksi RT-PCR, dan tipe gejala pada benih cabai merah terkontaminasi tobacco mosaic virus (TMV) 27

IPB University
Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
Perpustakaan IPB University

DAFTAR GAMBAR

1 Bagan alir penelitian "Potensi nanopartikel *cuprous oxid*e (Cu_2O) untuk mengendalikan infeksi tobacco mosaic virus pada cabai merah" 4

2 Buah menteng (*Baccaurea racemosa*) sebagai bioreduktor (A); larutan Cu_2O-NP (B); serbuk Cu_2O-NP (C); dan morfologi Cu_2O-NP yang didokumentasi dengan *transmission electron microscope* (TEM) (D) 14

3 Karakteristik Cu_2O-NP. Pola difraksi Cu_2O-NP menggunakan *X-ray diffraction* (XRD) (A); spektrum serapan Cu_2O-NP menggunakan spektrofotometer UV-Vis (B); dan spektrum serapan Cu_2O-NP menggunakan *fourier-transform infra red* (FTIR) (C) 15

4 Proses *green synthesis* Cu_2O-NP menggunakan ekstrak buah menteng (*Baccaurea racemos*a) 17

5 Gejala fitotoksik berupa klorosis disertai nekrosis (A) dan terbakarnya daun *Chenopodium amaranticolor* (B) 19

6 Gejala lesio lokal nekrotik pada daun *Chenopodium amaranticolor* yang disemprot Cu_2O-NP sebelum (A) dan setelah (B) inokulasi tobacco mosaic virus (TMV). (a) 0 ppm (kontrol + TMV) (b) 10 ppm; (c) 20 ppm; (d) 30 ppm; (e) 40 ppm; (f) 50 ppm; (g) 60 ppm; (h) 70 ppm; (i) 80 ppm; (j) 90 ppm; (k) 100 ppm; (l) 110 ppm; dan (m) 120 ppm 20

7 Partikel tobacco mosaic virus (TMV) yang dimurnikan dan diwarnai dengan UranyLess. Partikel TMV murni diekstraksi dari daun kontrol + TMV dengan perbesaran 30.000 kali (A); dan daun terinfeksi yang diaplikasi Cu_2O-NP 100 ppm dengan perbesaran 10.000 dan 15.000 kali (B, C). Panah kuning menunjukkan agregasi, panah jingga menunjukkan patahnya partikel TMV 23

8 Aktivitas enzim peroksidase pada tanaman cabai merah yang disemprot Cu_2O-NP 23

9 Tanaman cabai merah pada percobaan rumah kaca. Kontrol + tobacco mosaic virus (TMV) (A); kontrol sehat (B); Cu_2O-NP 80 ppm + TMV (C); Cu_2O-NP 90 ppm + TMV (D); dan Cu_2O-NP 100 ppm + TMV (E) 25

10 Hasil panen buah cabai merah periode pertama (A), kedua (B), dan ketiga (C) dari percobaan rumah kaca. (a) Kontrol + tobacco mosaic virus (TMV); (b) kontrol sehat; (c) Cu_2O-NP 80 ppm + TMV; (d) Cu_2O-NP 90 ppm + TMV; dan (e) Cu_2O-NP 100 ppm + TMV 25

11 Variasi gejala penyakit pada daun bibit cabai merah yang terinfeksi tobacco mosaic virus (TMV). Kontrol sehat (A); Kontrol + TMV (B); TSP 10% + TMV (C); Cu_2O-NP 80 ppm + TMV (D); Cu_2O-NP 90 ppm + TMV (E); dan Cu_2O-NP 100 ppm + TMV (F) 26

IPB University — Bogor Indonesia —

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

IPB University

Perpustakaan IPB University

DAFTAR LAMPIRAN

1 Output uji Kruskal-Wallis pengaruh Cu_2O-NP terhadap masa inkubasi lesio lokal nekrotik 41
2 Sidik ragam pengaruh Cu_2O-NP terhadap jumlah lesio lokal nekrotik 41
3 Sidik ragam pengaruh Cu_2O-NP terhadap tingkat hambatan lesio lokal nekrotik 41
4 Sidik ragam pengaruh Cu_2O-NP terhadap titer virus (nilai absorbansi ELISA) pada *Chenopodium amaranticolor* 41
5 Sidik ragam pengaruh Cu_2O-NP terhadap tingkat hambatan titer virus pada *Chenopodium amaranticolor* 41
6 Output uji Kruskal-Wallis pengaruh Cu_2O-NP terhadap masa inkubasi penyakit tobacco mosaic virus pada tanaman cabai merah 41
7 Output uji Kruskal-Wallis pengaruh Cu_2O-NP terhadap insidensi penyakit tobacco mosaic virus pada tanaman cabai merah 42
8 Output uji Kruskal-Wallis pengaruh Cu_2O-NP terhadap skor keparahan penyakit tobacco mosaic virus pada tanaman cabai merah 42
9 Sidik ragam pengaruh Cu_2O-NP terhadap titer virus (nilai absorbansi ELISA) pada tanaman cabai merah 42
10 Sidik ragam pengaruh Cu_2O-NP terhadap tinggi tanaman pada tanaman cabai merah 42
11 Sidik ragam pengaruh Cu_2O-NP terhadap jumlah daun pada tanaman cabai merah 42
12 Sidik ragam pengaruh Cu_2O-NP terhadap jumlah bunga pada tanaman cabai merah 42
13 Sidik ragam pengaruh Cu_2O-NP terhadap indeks vigor pada benih cabai merah 43
14 Sidik ragam pengaruh Cu_2O-NP terhadap daya berkecambah pada benih cabai merah 43
15 Output uji Kruskal-Wallis pengaruh *nanopriming* Cu_2O pada benih cabai merah terkontaminasi tobacco mosaic virus terhadap insidensi penyakit 43
16 Sidik ragam pengaruh *nanopriming* Cu_2O pada benih cabai merah terkontaminasi tobacco mosaic virus terhadap titer virus 43
17 Visualisasi DNA hasil amplifikasi menggunakan primer universal *Tobamovirus* (Tob-Uni 1/ Tob-Uni 2). Sampel berasal dari daun bibit cabai merah terkontaminasi TMV dengan perlakuan *nanopriming* Cu_2O konsentrasi 80 ppm (1); 90 ppm (2); 100 ppm (3); dan TSP 10% (4). K+ (kontrol + TMV); K- (tanpa TMV tanpa *nanopriming*); dan M, penanda DNA 100 pb 44

IPB University
Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
IPB University
Perpustakaan IPB University

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
   a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
   b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University